

陳列室・収蔵庫内温湿度に関して

著者	登石 健三，見城 敏子，石川 陸郎
雑誌名	保存科学
号	8
ページ	7-24
発行年	1972-03-10
URL	http://id.nii.ac.jp/1440/00003238/



陳列室・収蔵庫内温湿度に関して

登石 健三・見城 敏子・石川 陸郎

1. 温 度

文化財の材質劣化は原則として高温で速いことに間違ない。一般にこのようなゆっくりした化学変化速度の温度依存性はアレニウスの式で表わされる。すなわち

$$K = Ae^{-E/RT}$$

但し K : 反応速度定数

R : 気体定数

T : 絶対温度

A, E : 共に材質に関係ある定数

これによると20°Cのあたりでは温度が10°C上昇すれば劣化の速さは約倍となり、逆に10°C下れば約半分にとどまる。従って文化財保存上の適温はこの点でいえば低温の方がよいことになる。しかし0°Cという温度では多くの文化財材質が含有する水分も凍結し、凍結・融解がくり返されると、組織の破壊など材質に悪影響を持つと考えられるから、ここまで下げることは不可と考えられるし、更に観覧者が常に室内に在ると考えねばならぬ陳列室では、人間が快適と感じる温度或は少くともそれに近い温度を実現しておく必要がある。収蔵庫は人間の存在をあまり重く考えなくてもよいであろうが、陳列品の出し入れを考えるなら、あまり庫内だけ低温にしておくことも出来ない。出し入れで収蔵物の周囲温度が大きく変ると、表面結露とが逆に表面乾燥がおこるからである。

このことから空気調節の設備をもった施設では陳列室は一般に20°C乃至22~23°Cを目標に、年間外気温に則して変化する基準がとられ、夏季は外気より5°C程度低く、冬季は観覧者の快適さを考慮して20°C近くに調節されるのが普通である。収蔵庫はこれよりやや低温とされるのが普通である。ところが陳列室は昼間だけ空調され夜間は自然まかせという所が多い。このような方式の陳列室や空調施設のない施設では一日周期の温度変化従って相対湿度変化が中の文化財に加わることになり、これら文化財については剥離というような機械的こわれが加えられる結果を生ずる。

温度について言うなら文化財の在る室内は適当な低温に、しかも一日という短い周期の変化がなく保たれるべきなのである。

(1) 実際の室内温度

一般に空気調節されないコンクリート建築物内の温度は外気温に比べて(1)短時間内での変化が平均化されること、(2)日照の影響を受けて、戸外平均温度より僅かに高くなること、(3)年変化については外気の変化にやや遅れてこれを追うこと、(4)主として(1)の平均作用により寒暑の極端値は外気程には苛酷でないことなどが知られている。(2)以外は建築物の熱容量が大きい程、すなわち壁の厚いドッシリした建物は、或は壁の断熱性がよい程よくあらわれる。

その実測は長期間の連続測定を必要とし、京都において四季に一度、しかも昼間のみ測定するのでは勿論意味のあるデータは得られない。鎌倉杉本寺収蔵庫は約20m²床面積の小さいものであるが、この位の規模の収蔵庫は割合に多いし、測定の便がよかったので、ここに温湿

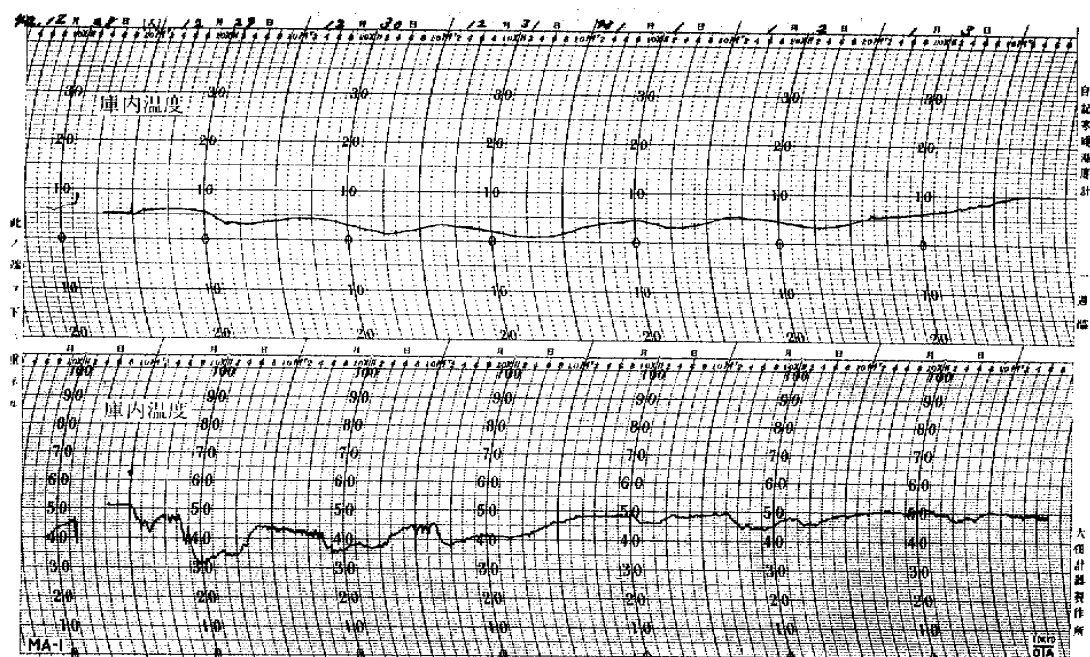


図-1 a

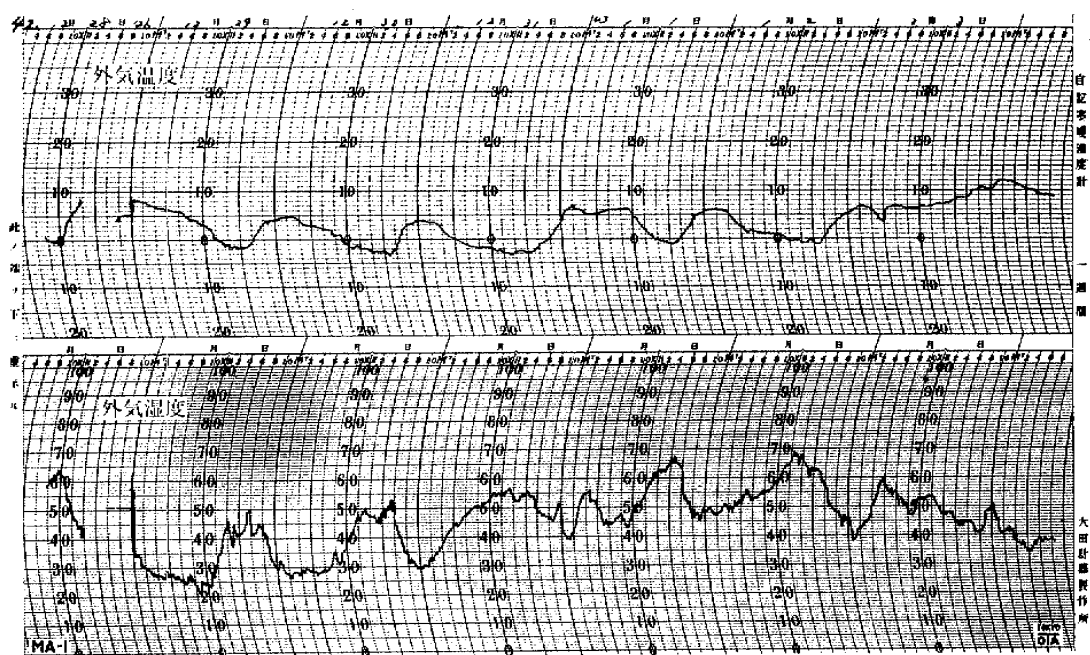


図-1 b

度自記記録計を庫内外に各一設置した。一年以上のこの記録から代表的な幾つかの日の記録を抽出して示す。

① 42.12.28~43.1.3 曲線(図-1)

(1)の平均化の様子は明らかに出てくる。外気温よりやや高目なのは(2)、(3)の両方の影響であろうか。

② 43.1.23~43.1.29 曲線(図-2)

このような小さい建築物では(4)の効果はあまり明らかなではないが、内がやや高目であると見

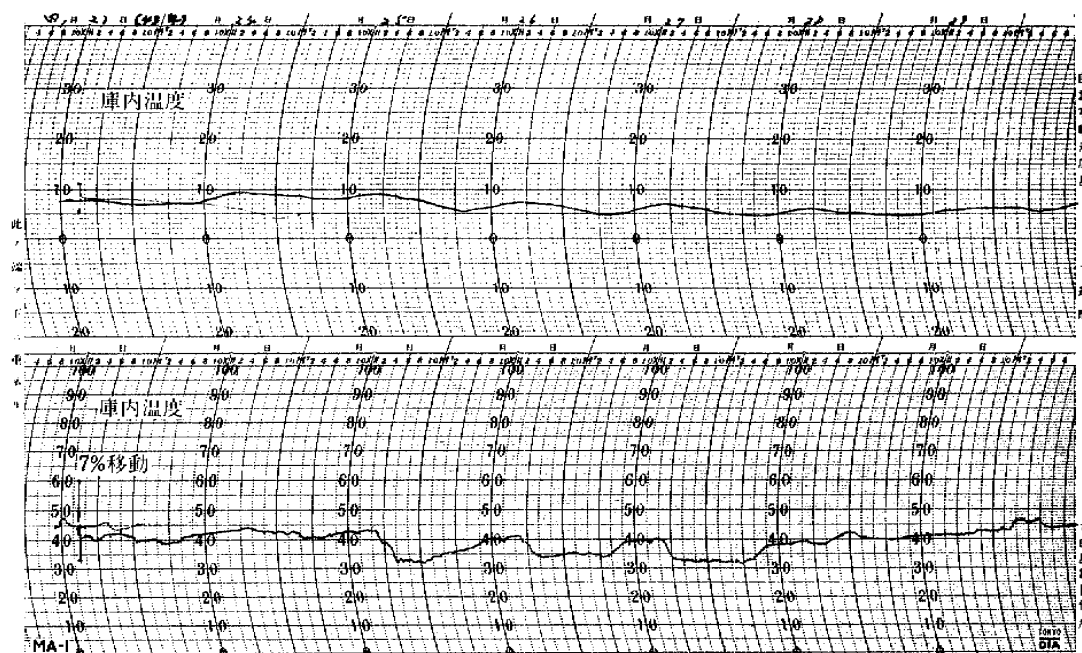


図-2 a

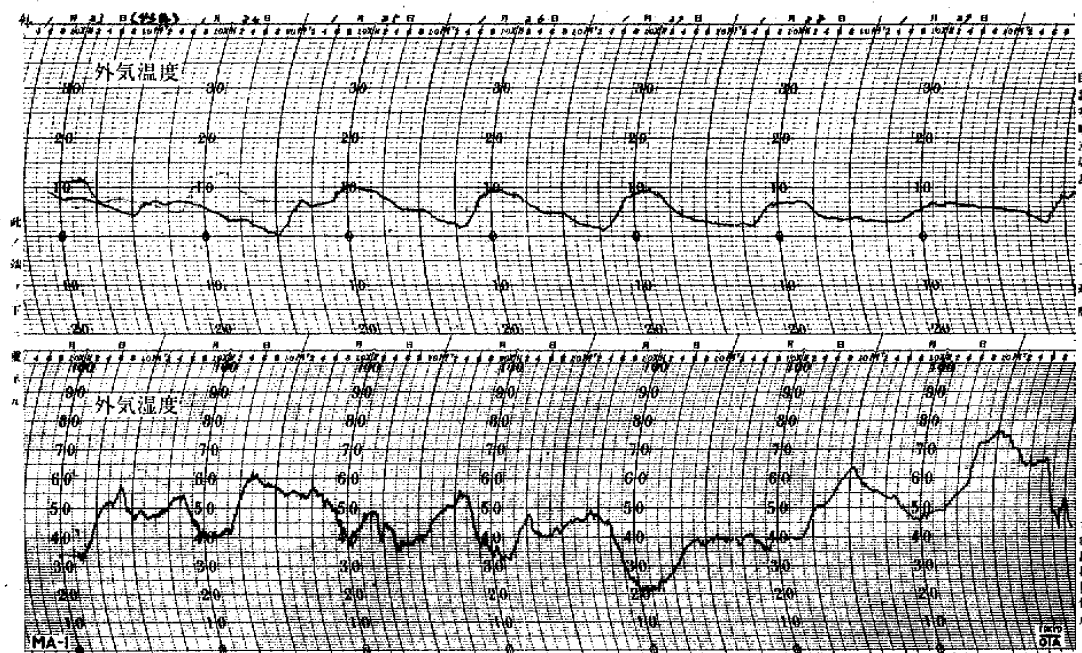


図-2 b

てよい。これは又(2)のあらわれであるとも解される。

③ 43.3.7~43.3.13 曲線 (図-3)

(1)の効果がみられるほかは内外あまり温度差がない。この季節には(2)と(3)の効果が打ち消し合って同じような温度となるように思われる。

④ 43.7.9~43.7.15 曲線 (図-4)

⑤ 43.9.25~43.10.1 曲線 (図-5)

この季節ではもう平均温度は庫内の方が多い。(2)の効果のあらわれである。

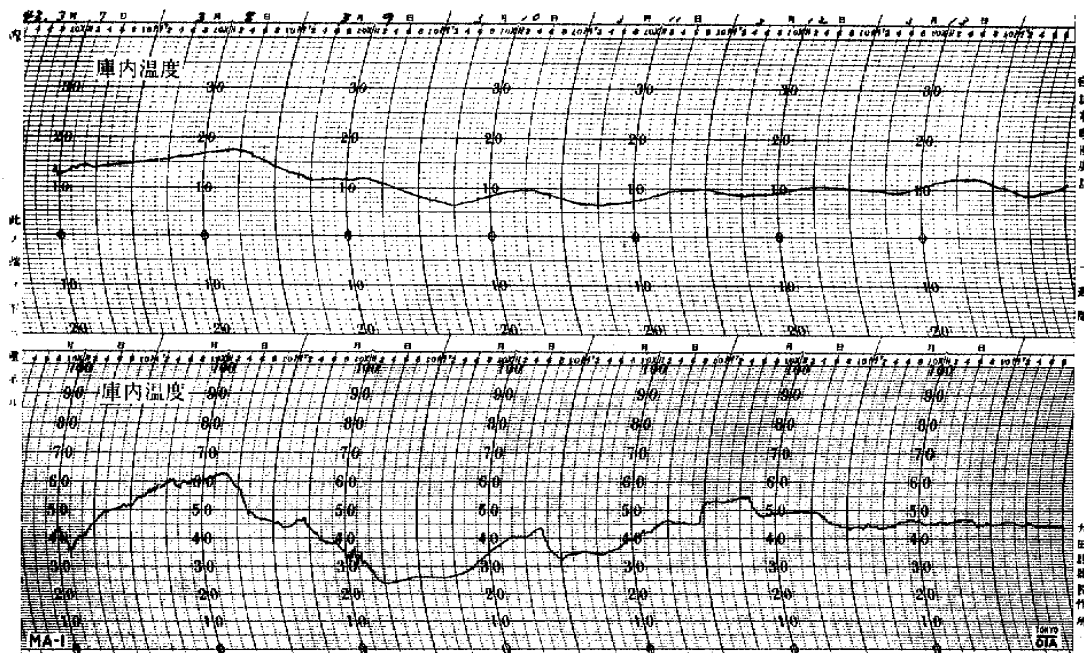


図-3 a

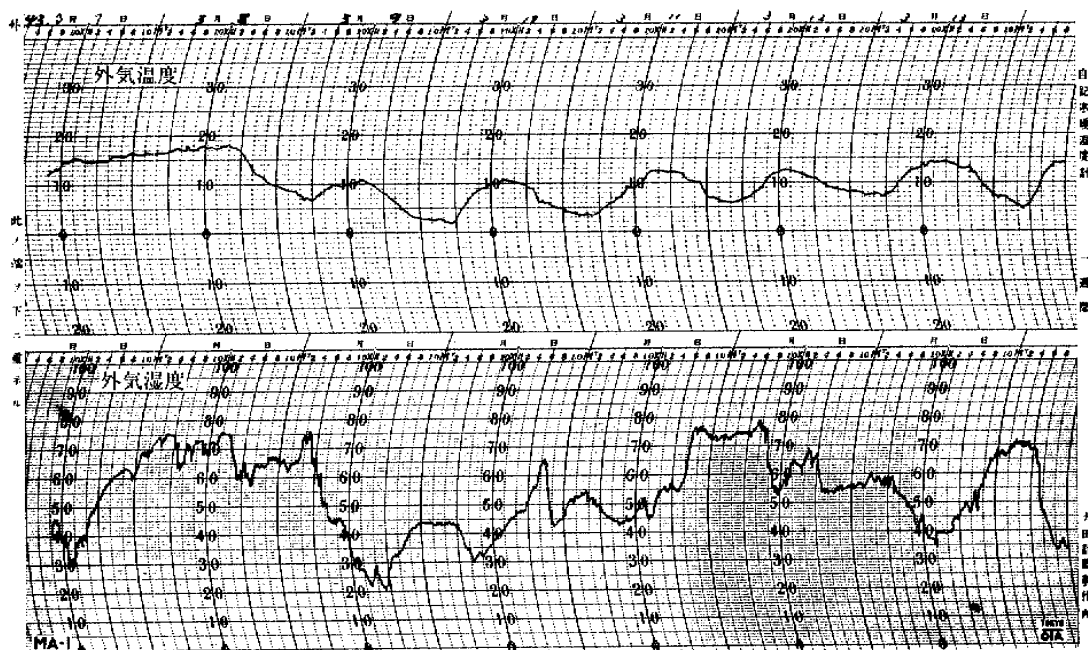


図-3 b

⑥ 43.11.21~43.11.27 曲線 (図-6)

秋も庫内の方が高い目を保ち乍ら、次第に低温に推移する。

以上を要約すると、短時間内の温度変化が平均化されることは何れの curve でも明白で、収蔵庫としての好条件の一つが満されているとみてよいが、この様な小収蔵庫では建物の熱容量の効果、すなわち年間推移の相の遅れとか極端温度の緩和とかはあまり顕著でなく、それよりも日照による高平均温度の方がよりハッキリ表われているようである¹⁾。

1) このことは奈良における収蔵庫でかなり多くのものにつき実測されている。永田四郎：室内気象の観測 1~12 奈良教育大学紀要 (1953~1970)

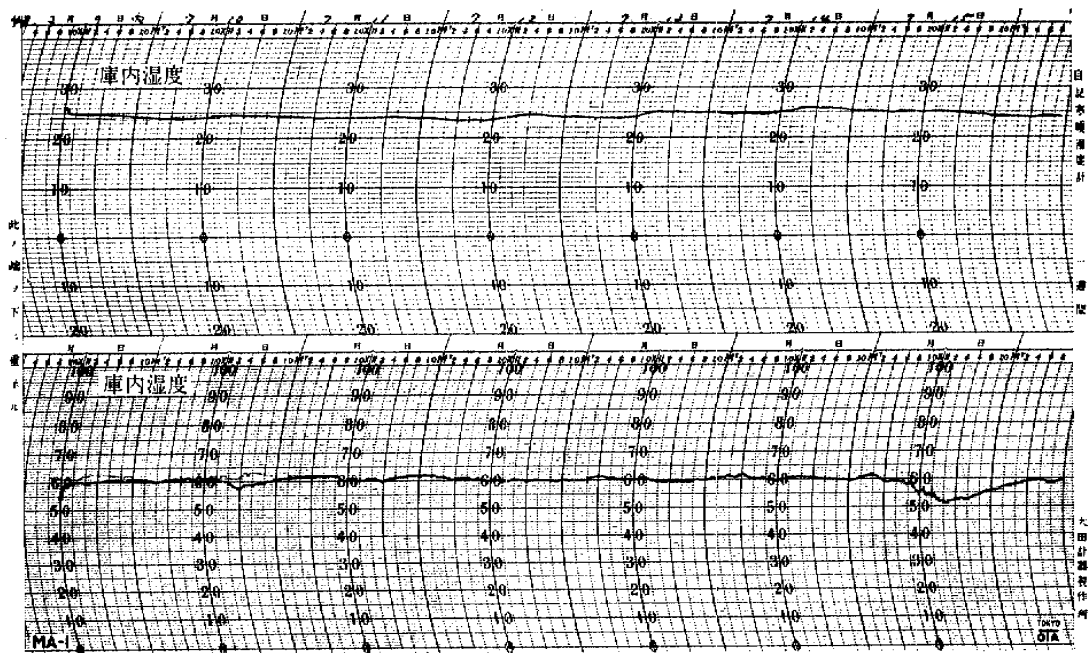


図-4 a

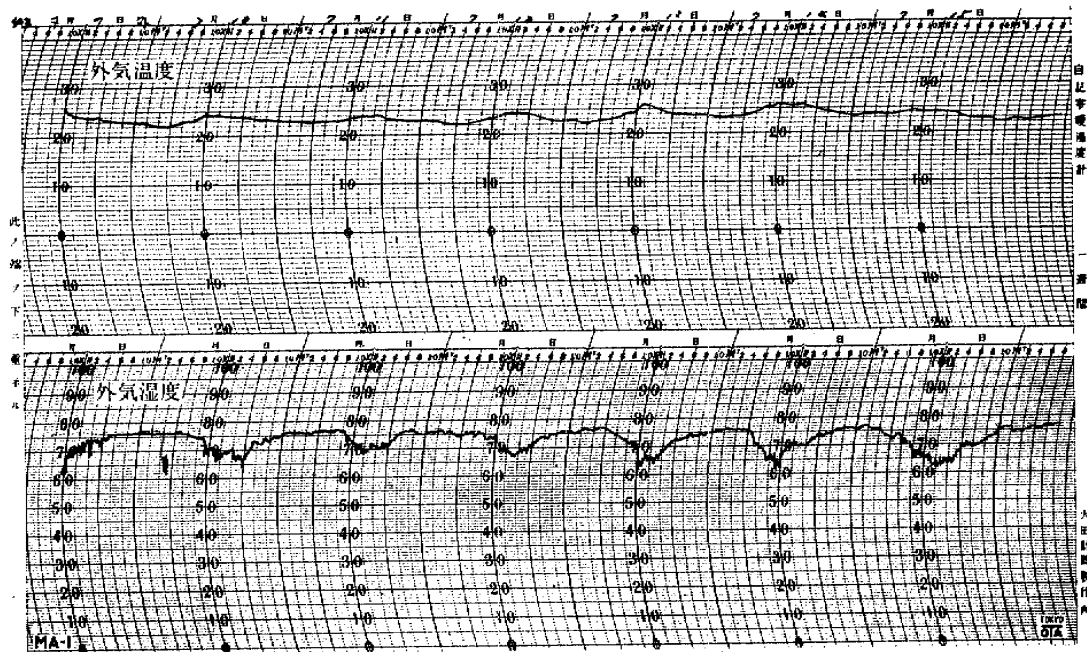


図-4 b

温度が高いことは先のアレニウスの式で表われる通り，文化財材質劣化の面で悪いことである。但しこれは相対湿度が同じであると仮定したときのことであり，温度と相対湿度とは密接な関係があるので一概に高温の方が悪いとも言えない。例えば15°Cで100%近いような湿った空気があったとすると，むしろ20°Cに上げて相対湿度は約70%とする方が害が少ないというようなこともあるのである。これらの関係の概略を数式化したものに次のBrookes式がある。概略をあまり厳密でなく表わしている実験式にしかすぎないが。

$$A = b \frac{(H - K)}{100} (1.054)^t$$

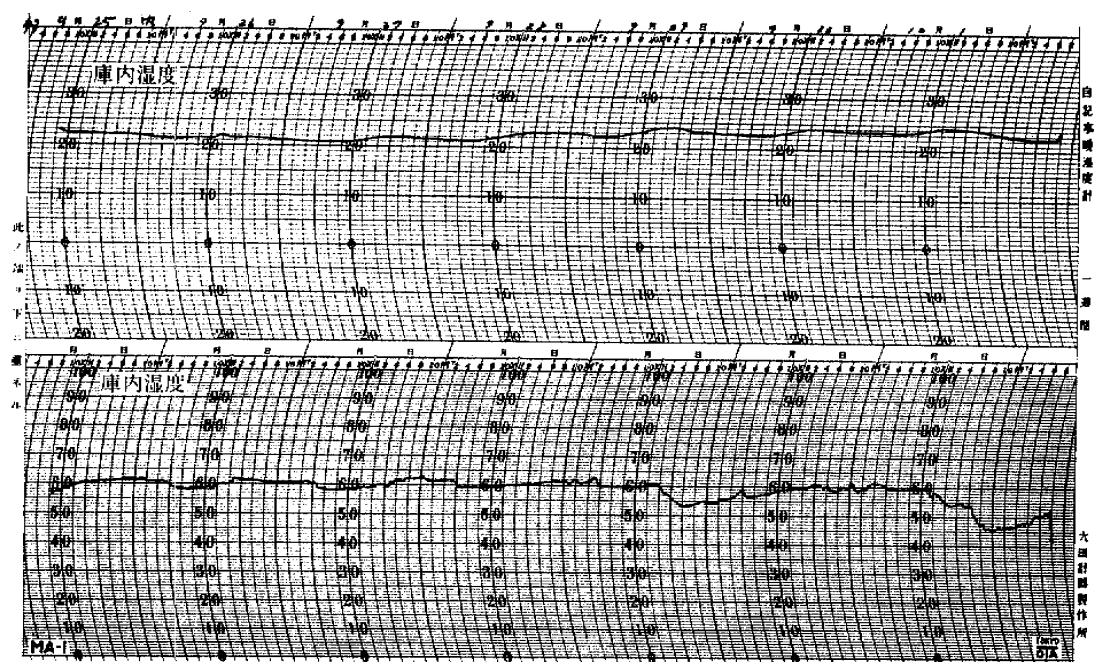


図-5 a

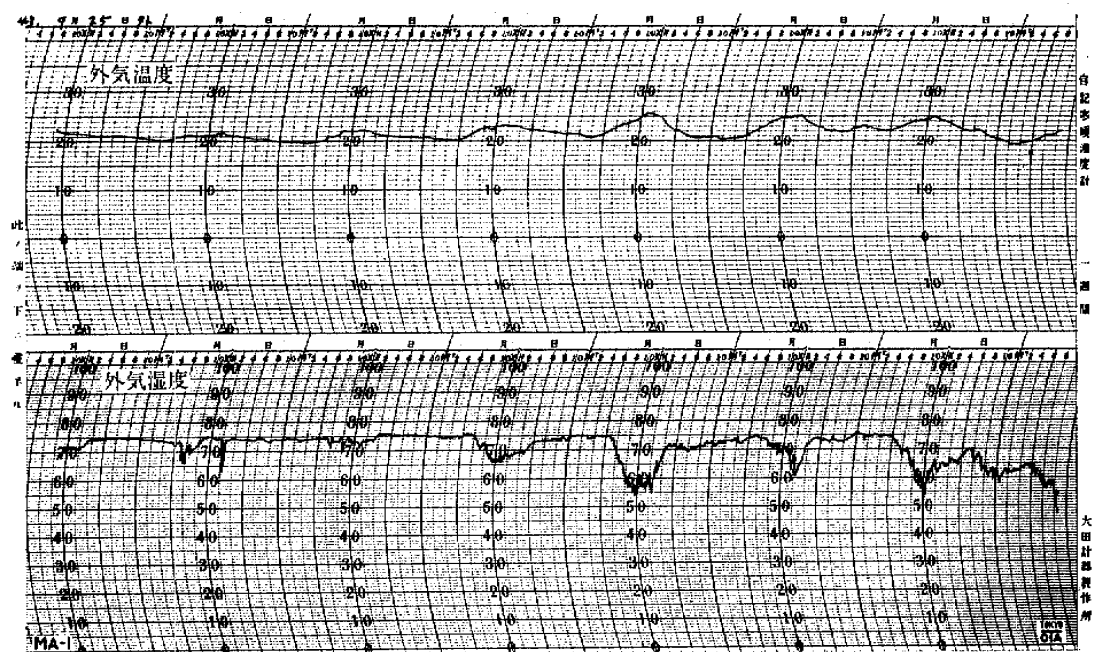


図-5 b

但しAは劣化の程度を表わす指数

Hは相対湿度(%)

tは温度(°C)

b及びKは常数である。

要するに湿度さえ適当に保てるなら、温度は低目の適温とするにこしたことはなく、特に夏季庫内が30°Cを越すような状態は避け度いものである。

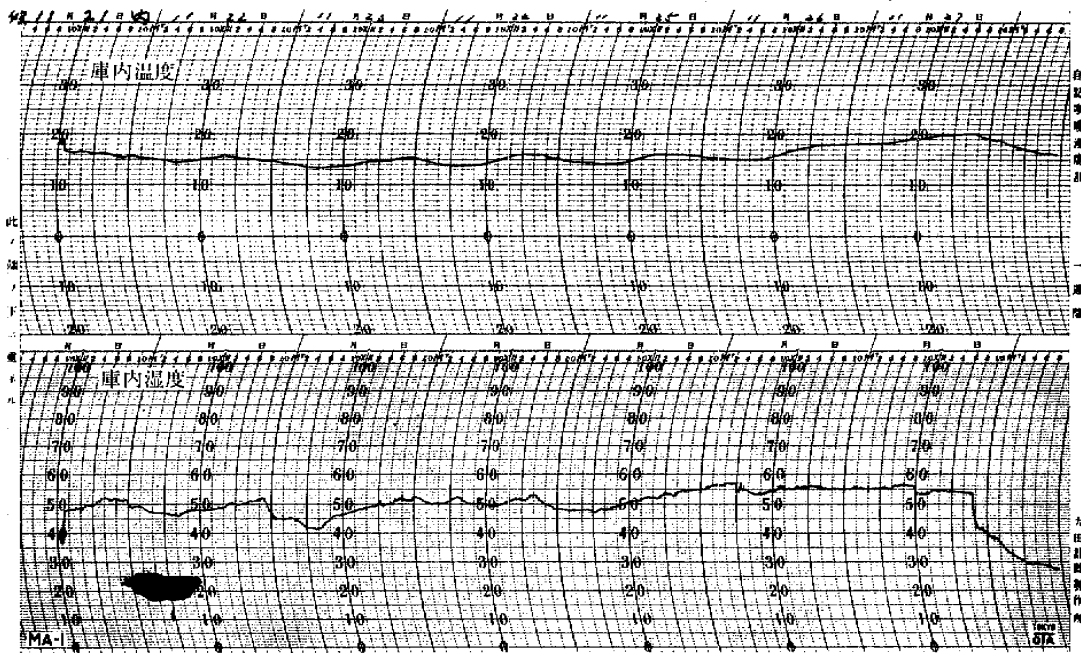


図-6 a

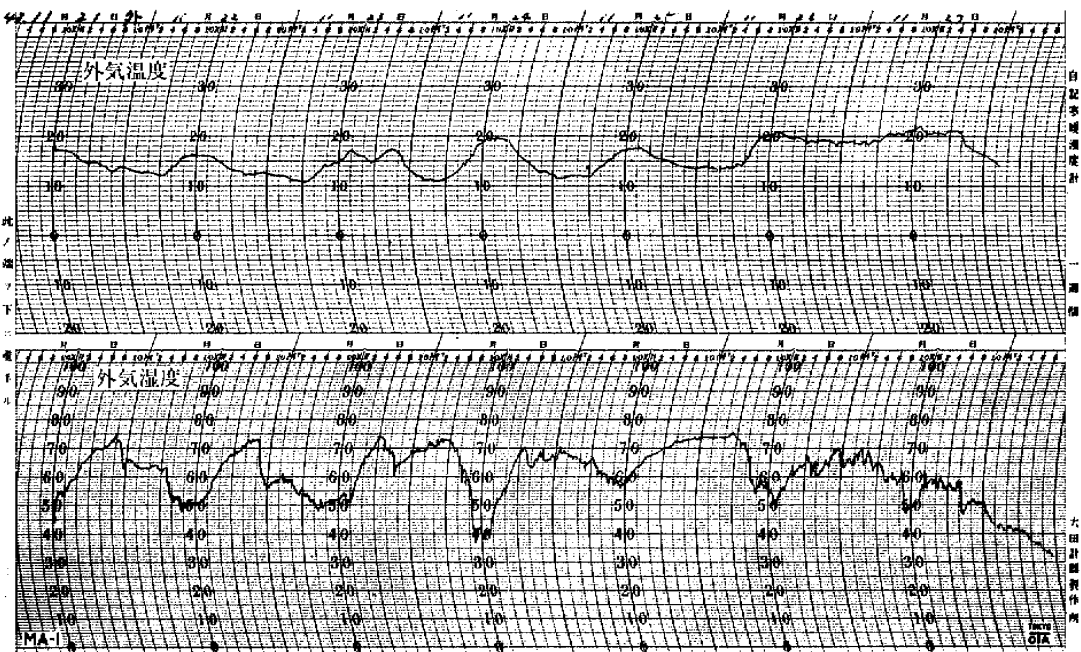


図-6 b

(3)や(4)の効果が目立って表われるのは、コンクリート建築でも壁全体が非常に厚いとか、或は断熱性が高い、より大規模な建築物で、しかも換気量が少い場合であり、今回我々が対象として選んだ程度の小収蔵庫では、(3)、(4)に相当する遅延効果・緩和効果はむしろ一日といった短い周期でおこる温度変化に対して明らかにあらわれる。これは測定値にハッキリ現われている。すなわち庫内での温度ピークは午後4時～5時頃現われるのが普通で最高最低の温度差も庫外より小さく出る。

(2) 内装材の差

実験収蔵庫を南西↔北東方向の仕切板により二つに仕切り、各半さにおいて現行の内装法の異なる二つを施してみた。但し日照時間は左右多少異り、向って右半（大谷石貼り）の方が少し多いかもしれない。右半は7 cm厚の大谷石を内壁上に7.5 cm間隔をとって貼る内装、他は2 cmの桧板で内壁から3 cmの間隔をとって二重壁とする内装である。（図-7）但し床面は大谷石は直接貼り木は5 cm 間隔をとって貼ってあり上面を合わせてある。仕切り壁及び天井は化粧ベニヤで作られた。換気を止め両者でとった温湿度は図-8の如くになっており、明らか大谷石の方が内部での変化は少い。これは大谷石が意外に断熱性がよく外気温変化を内部まであまり伝えない、従って相对湿度も此方の方が変化しないわけである。但し内外とも気温は一定で、ただ換気によって相对湿度の異った外気が取り入れられたというような場合には、木の方が吸放湿

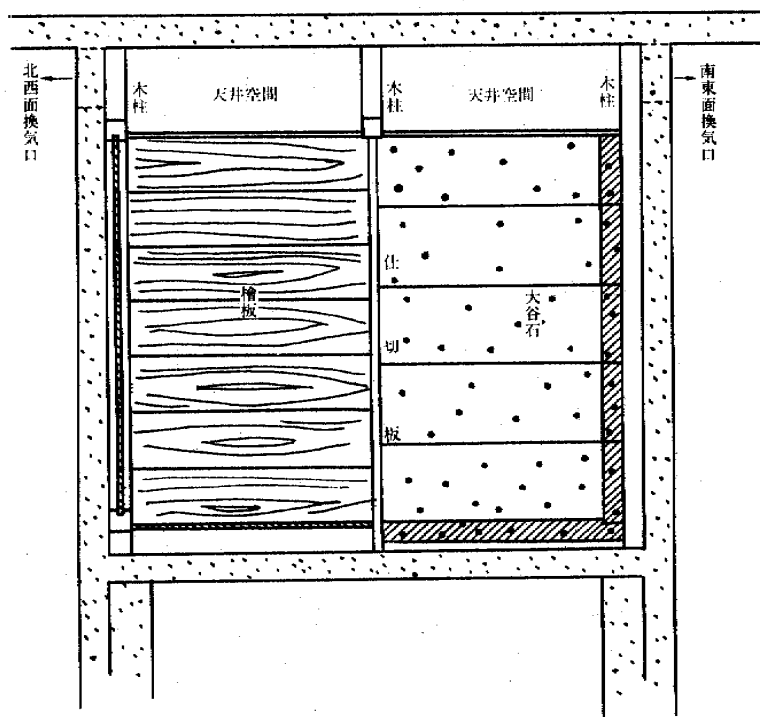


図-7

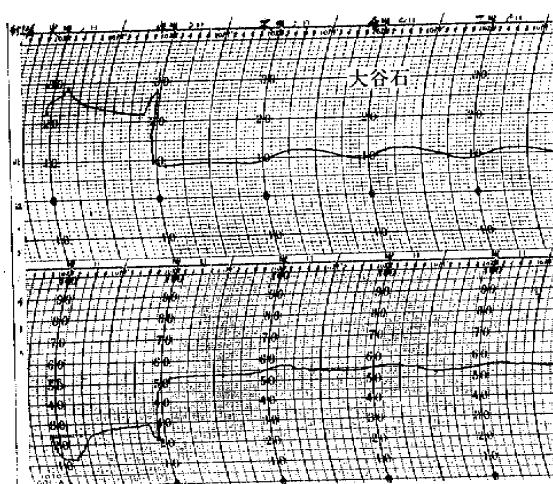


図-8 a

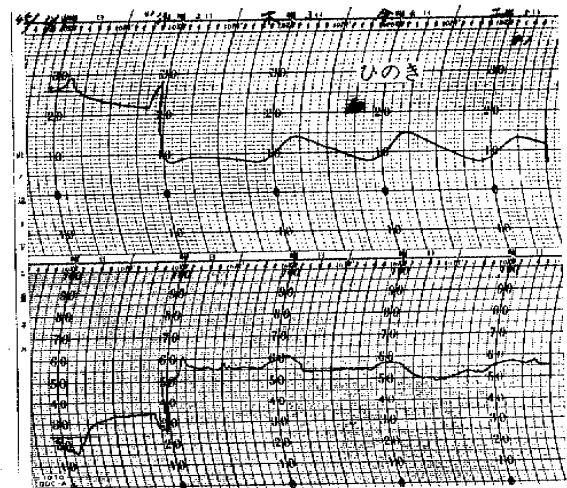


図-8 b

が大きく、庫内の湿度変化をよりよく緩和するであろう。一概に木の方が効果が薄いとも言えないが、断熱性では大谷石内貼りの方が有効であると言える。勿論厚さなど関係があり、この比較は現行の通常法を比較しての意味である。現行の慣例では空気調節の設備を備えたような大規模の収蔵庫或は展示館では特に石綿その他の断熱層を壁体内に含ませ、外気の影響遮断に注意を払っているが、小規模収蔵庫ではこの実験庫の木の内張り方式と同様な方式を採用する事が多い。温度変化を伴わない湿度変化の緩和と後にのべる「枯れ」不十分の際の対策に便利ということで、この方式はよい方法であると思うが断熱性を附加する意味で大谷石とか石綿とかの層がもう一層付け加えられたら庫内の条件はずっとよくなるであろう。

2. 湿 度

コンクリート建築物内の平均温度が外気に比べ幾らか高目になることに呼応して、相対湿度の方は屋内の方が幾らか低くなるのが普通である。従ってコンクリート収蔵庫等はむしろ乾き気味になると考える人がいるが、建設当初は逆に多湿の問題がおこる。建設時にセメント練りのため混ぜられた水分が当分は残存する為である。

この水の極一部はコンクリートの構成成分として固定されるが、他の大部分は自由水として壁体内に残る。これは水分の蒸発源であるから、建物を閉じ、定温に長時間保てば内部空気の相対湿度は 100% となる筈である。地下収蔵庫で地下水がコンクリート壁体中に浸入し、このような状態となっていることもあるが、これは今の問題から外そう。さて建物を完全に閉じめることは実際に難しいから、建物内に蒸発した水分は換気と共に戸外に取除かれ、又壁から直接外気に蒸発するものもあって壁体内の自由水は次第に減少してゆく。自由水が完全になくなってしまうと、建物を閉じて室温に長時間保っても内部は 100% の相対湿度とはならず、丁度自由水がなくなったときのを出発点として段々それ以下の相対湿度値を示すようになる。

この考えは実効湿度の考え方に外ならない。尤も実効湿度の定義は実験式で次の如く与えられる。

$$H_c = (1-r)(H_0 + rH_1 + r^2H_2 + \dots)$$

但し r : 1 より小さい常数

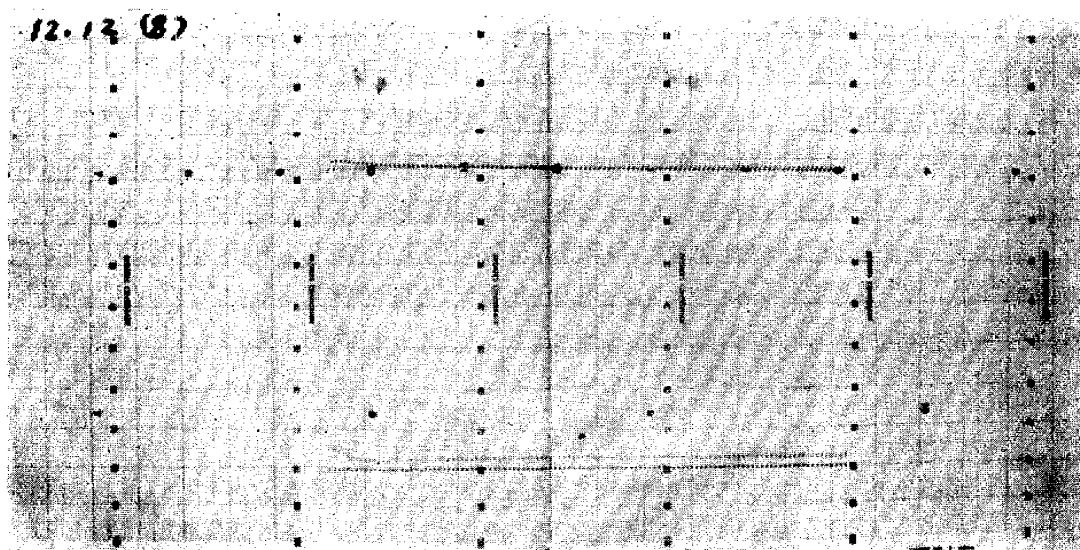
通常 0.7 位にとられる

H_0 : 当日の平均湿度

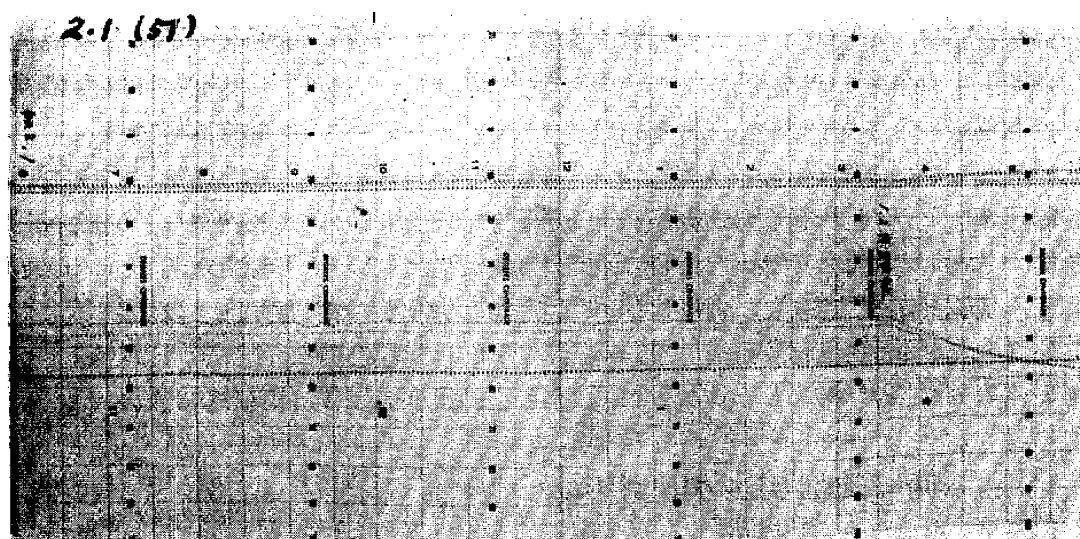
H_1 : 前日の平均湿度

この式は実際の場合が表わせるようになり複雑に出来ているが、その意図するところは物の湿り方をその温度で平衡となる空気の相対湿度で示そうとしているのである。

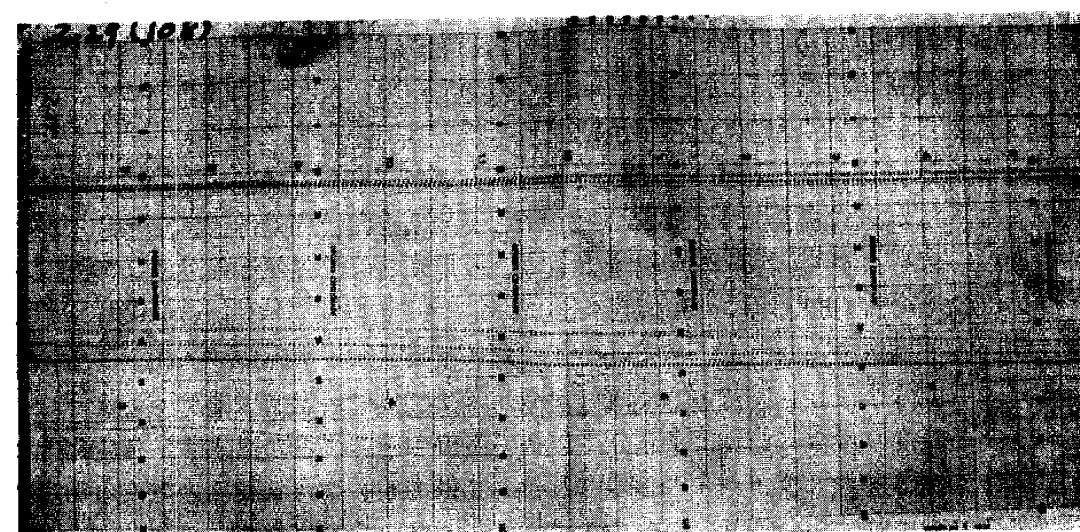
コンクリートの実効湿度は自由水が丁度無くなったときに 100% で次第に乾いてゆくに従い小さい数字となってゆくであろうが、数式でも分かるように大気の相対湿度に密接に関係する。今温度は問題から外し、すなわち一年中温度は一定と仮定すると、外気がもし常に 50% ならコンクリートの実効湿度は時間と共に 50% 近づく。このときは例えば実効湿度が 52% 以下となれば建物は乾いたと見做すというように定義することも出来るが、実際の外気相対湿度は常に変動を繰り返しているからコンクリートの実効湿度も長時間後に一定値に落付くということがない。従って実効湿度が幾らになれば建物は乾いたと定義づけることが出来ず、建物について「乾いた」というのは極めてアイマイな表現でしかあり得ない。謂わば建物内で湿度の災害がおこらなくなることを乾くというといった極めて漠とした定義しか出来ないのである。このような意味で一般にコンクリート建築が乾くのは約一年であると言われているが、こそはほぼ正



図—9



図—10



図—11

しい。但し地下収蔵庫のように外壁からの蒸発は遮られ、内部も自然にはあまり換気されぬような場合はもっと時間がかかることも考えられる。

次に法隆寺の新収蔵庫における乾き方を見てみよう。この建物はほとんど閉じた建物であるが、割合に早くから空気調節が行なわれた。従って換気は割合に大きい場合の例であり、又次のような特徴をもっている。

(1) 送風空気は常に室内に一定の設定値を現出さすように送られる。すなわち室内は最初の湿潤状態からはじまり、室内に湿度設定値が現出されるまでは、乾燥空気が少くとも断続的に送られ、湿度曲線は概して下る一方であろう。

(2) 後に述べるようにこのような新しい建物では湿度計器が速に狂うものであるが、装置の湿度設定値と実測湿度値とは同じ或は同様に侵されたセンサーによっているから、この間に差があれば建物が猶湿っていると解釈してよい。すなわち装置の設定値が実現されているかどうかで乾きが分かるのである。

しかし実際はこのように簡単に操作されたわけではない。この収蔵庫は昭和42年11月に竣工、12月から時々、43年1月からはほとんど毎日昼間に空調が始められ、夜間も時々は行なわれた。温度は夏は外気+4°C、冬は外気+4°C、湿度は57%に設定、送風量は毎分66m³（室の換気としては毎時ほぼ1回位となろう）であった。自記記録は12月からとられているが、これを見るに上の(1)、(2)で述べたような簡単な解釈は出来ないことが分かる。その理由は空調装置の運転もやはり一種の試験として色々のテストを行ない乍ら操作しており、常に一定の設定値をもうけて連続運転をしてはいないからである。

この記録から湿度についての大体の傾向として言えることは

- (1) 最初の期間（12月）庫内空気は80%程度に湿っている。12.12 曲線（図-9）
- (2) 2月始めには部屋によっては50%台の設定値にほぼおさまリ、部屋によっては40%台にまで下っている。2.1 曲線（図-10）。但し空調運転が中止されると、すぐに湿度上昇がおこリ、猶湿りが残っている証拠を与えている。
- (3) 2月末には時によっては50%前後のこともあり、60%前後のこともあって、先の(2)が全く当て嵌らない2.29 曲線（図-11）。多分運転の調子が色々変えられているのである。
- (4) 3月末—4月始頃には30%台の乾燥がおこっている4.2 曲線（図-12）。この理由は春にかけて異常乾燥の日がおこるので、空調としては外気を取り入れ更に暖めて庫内乾燥を計リ、加湿装置は全くとめていたからである。
- (5) 4月末も外気取入れで乾燥を行なっていると思われ、40、50%台を上下している4.26 曲線（図-13、図-14）。従って3～4月の建物の含水については手がかりがほとんどないが、例えば4.28 後半の曲線（図-15）で外気湿度（最も下にあるやや上下ある曲線）の推移は割合変化がないのに、庫内湿度が漸増する傾向が見られるので、猶建物は湿っていると考えてよいであろう（実効湿度約64%）。
- (6) 8月6日～8月7日は外気に頼らず調湿していると考えられるが、外気湿度の記録（上下変動の大きい点線）をみると、外気が湿潤に向うときは、幾らかその影響が入っているかもしれない。60%乃至65%を示し、設定値に近いがやや上廻っているのは残存水分の影響によるものかとも思われるが、上述の傾向も重なっているのであまりはっきりしない。8.6、8.7 曲線（図-16、17、18）。
- (7) 8月17日後半部（図-19）に冷凍機が始動した跡がある（冷凍機が入ると、同時に湿度も下る）。その後すぐに冷凍機は切れて、温湿度共に上昇しているが、例えば濃い点線（第3室の

記録) 時間指示 6~7 の間で温度 22°C 、湿度 61% を示し、最後の 8 の位置では 22.5°C 、62% となっている。これは絶対湿度でそれぞれ $12\text{g}/\text{m}^3$ 未満、 $12\text{g}/\text{m}^3$ 余となっている、水蒸気が空中へ蒸発してきたことになる。ここで十分に時間をかけてやると、空気湿度にコンクリートの実効湿度があらわれるのであるが、これは同図の左端にもあらわれており、63.5% 位を示している。同じような現象は 8 月 10 日 (図-20) にも一度あらわれているが、このときの実効湿度は 60% と出ている。一度 60% であったものが一週間後には 63.5% に上昇しているのであるが、その前の記録をみると、その原因は履歴となる前数日の空気湿度であることがわかる。すなわち 8 月になると、コンクリートの元来の含水量が実効湿度にあらわれるよりは、まわりの空気湿度の経歴が実効湿度をきめるという状態になっている。言いかえれば所謂ほぼ「乾いた」状態に到達していると考えてよかろう。その他の収蔵庫について実際測定した結果でみても、壁が元来含有した水分が原因で室内がはっきりと湿って測れるのはすべて一年以内、大てい数ヶ月のものについてである。実験収蔵庫の乾き方もかなり速かったが、壁厚が実際の $1/2$ であるので問題とならない。

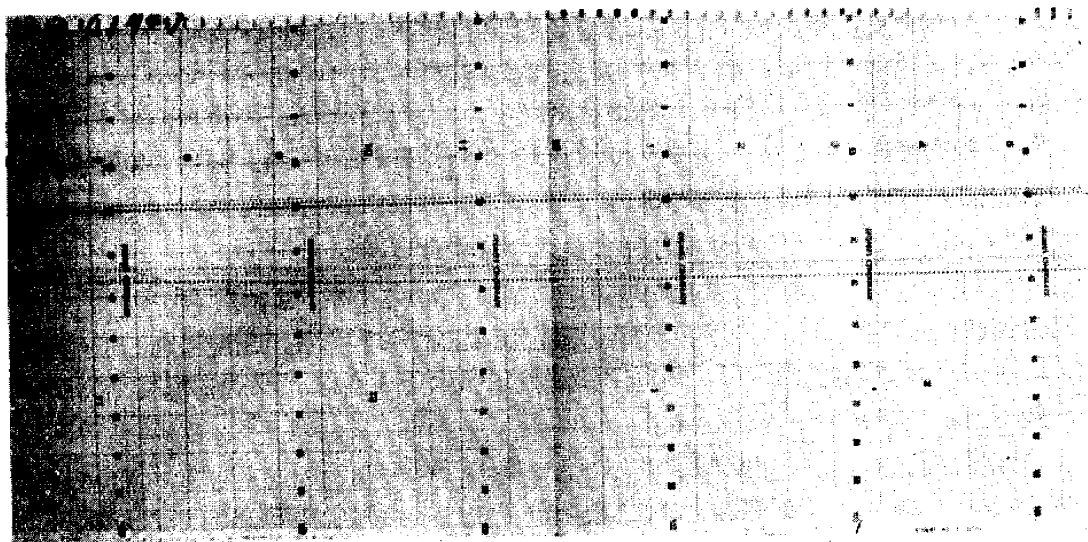


図-12

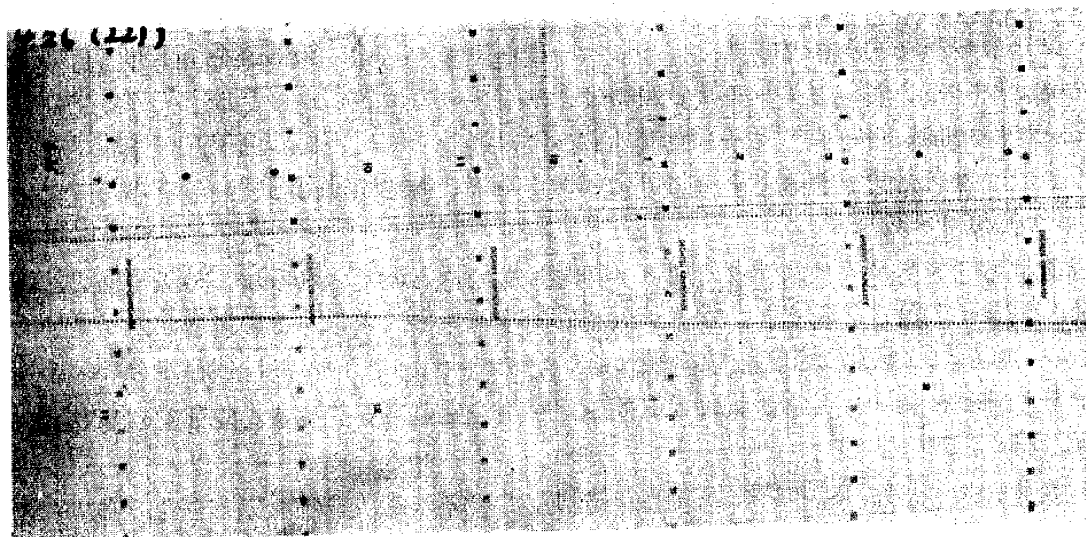
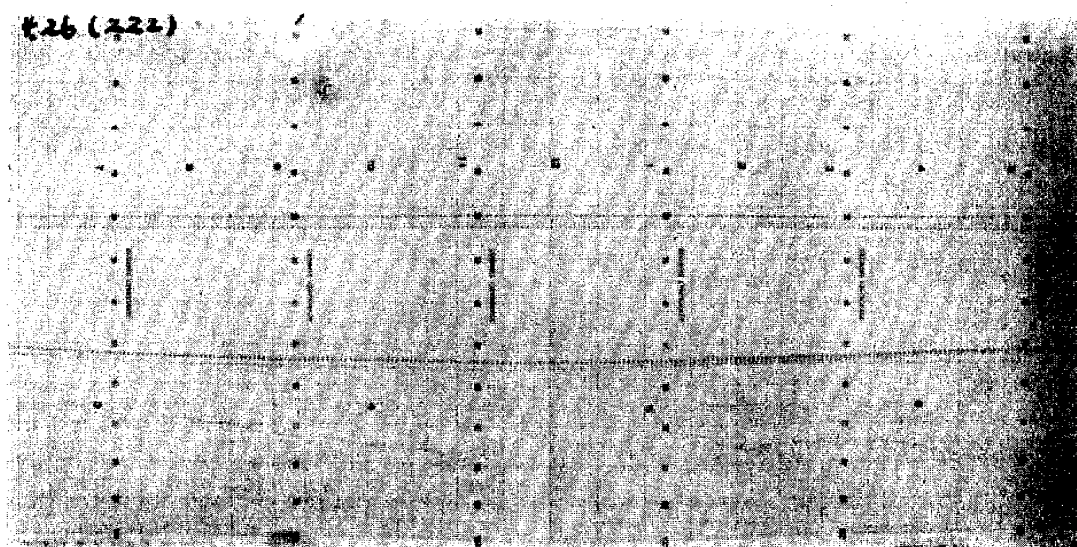
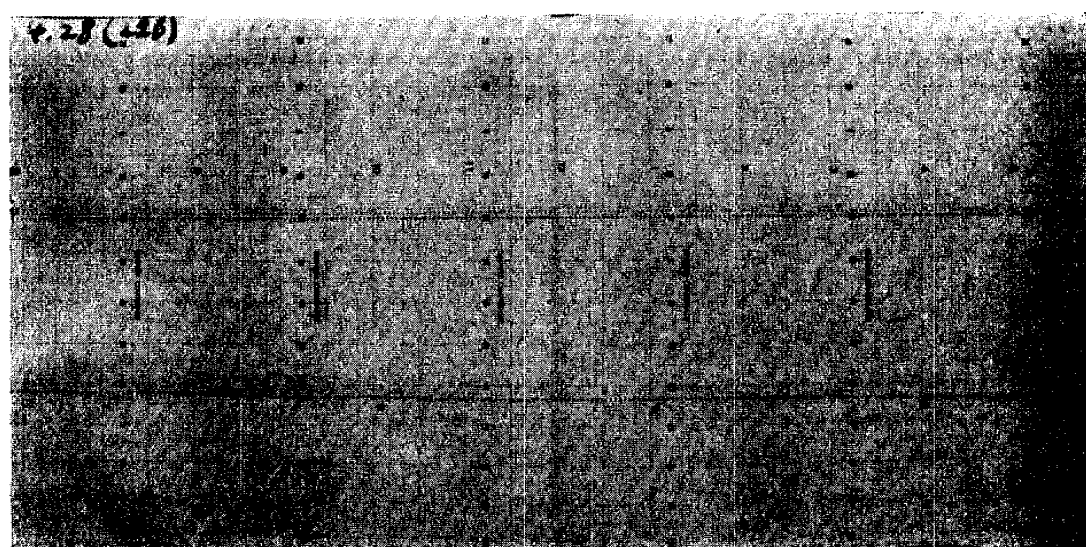


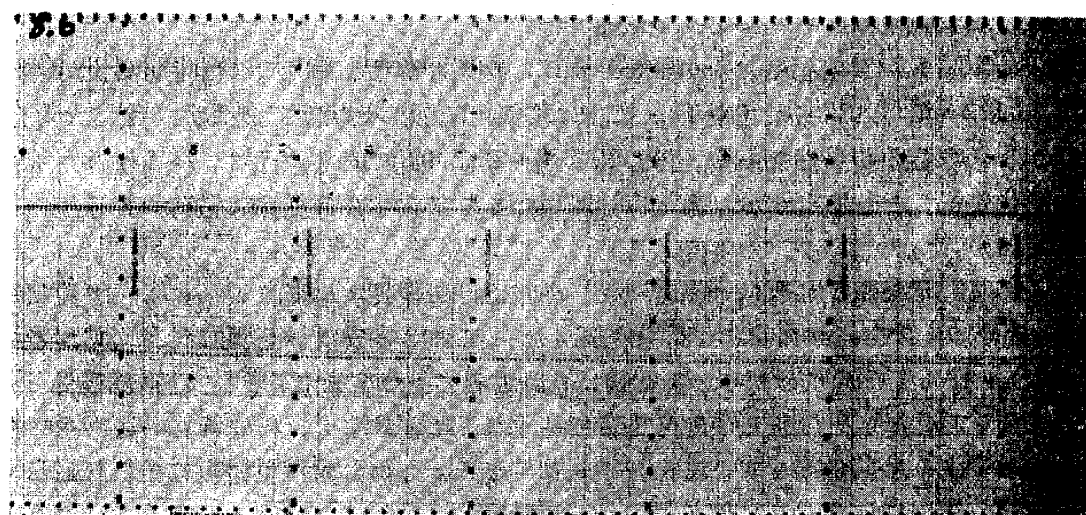
図-13



図—14



図—15



図—16

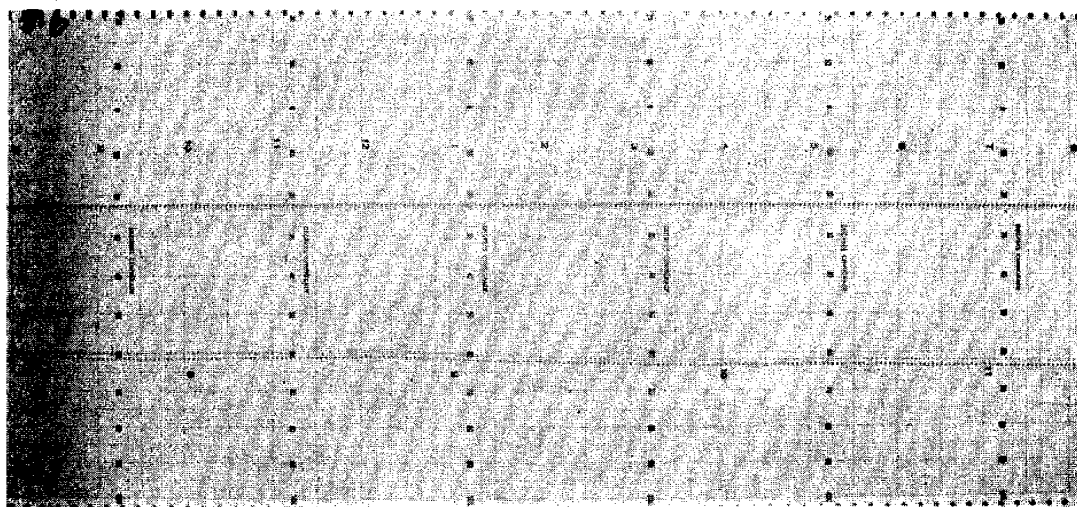


図-17

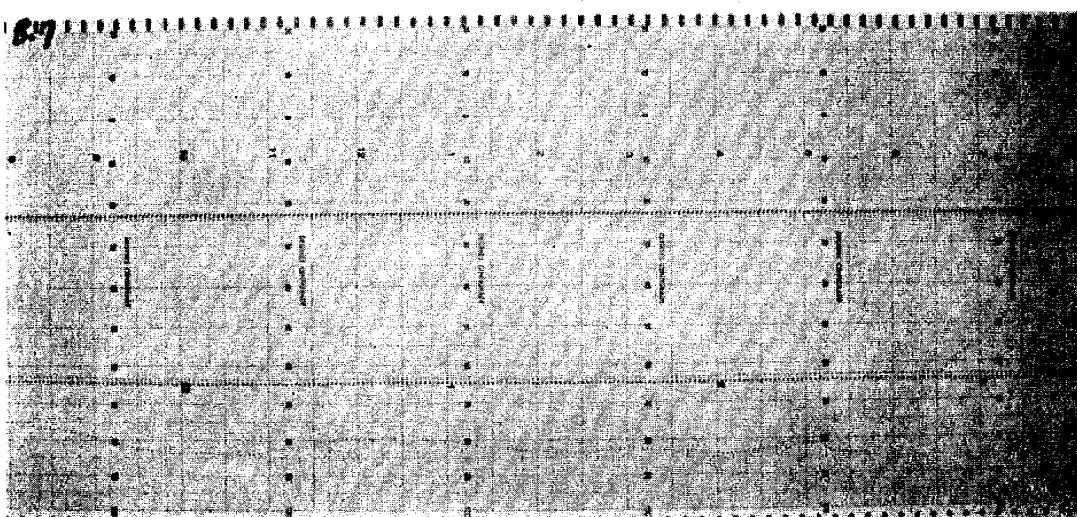
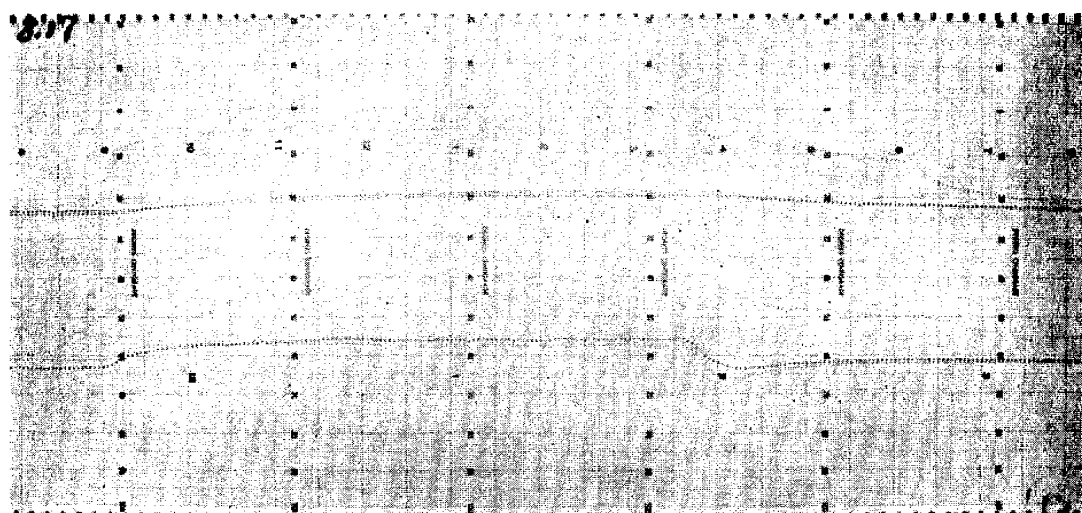


図-18

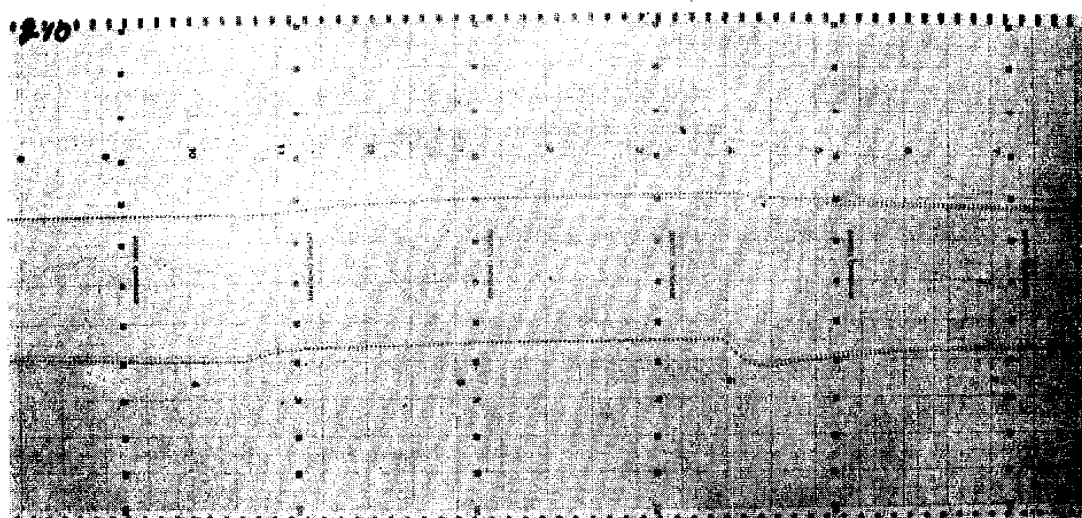
2 実際の既設収蔵庫における湿度の状態

杉本寺収蔵庫設置の自記記録計の曲線をみるに、湿度曲線でも庫内では短時間変化が緩和されている 43.3.7~43.3.13 曲線 (図-3)。これは換気口を開いた状態であるが、閉じた場合は更に変化が小となるのが当然である。但し 43.3.8~43.3.9 間にあるように、一昼夜のうちに 40% 近くも変化することもあるから、換気口を開いたままでの収蔵庫使用は危険があるものと考えねばならない。

これら (庫内、庫外にそれぞれ一個置いた) の自記記録湿度計は庫内のものは一ヶ月で約 7% 狂い、庫外のものも二ヶ月目には同程度狂った (これは多分埃が毛髪に付着しておこったものである)。従ってその後の読みの絶対値は信用することが出来ない。この種の毛髪 (ナイロンも) を利用した湿度計は空気中の汚染分で侵されることが多く、特に新しい建物内に設置するときはその読みは斯の如くすぐに信用出来なくなる。しかし或程度長期にわたり記録するのでなければ、庫内湿度の傾向は掴み難い。電気湿度計は毛髪よりは長もちするようであるが、これも新しい建物に設置した場合は狂いが早いように思われる。乾湿球湿度計については別項



図—19



図—20

にのべる。従って今のところ湿度の傾向を知る手段は非常に不完全でしかあり得ない。

ただ既に枯れてあまり換気の必要なくなった収蔵庫においては、或は枯れていなくともあまり換気が行なわれていない収蔵庫では、特に収蔵物が多くとり込まれた場合、庫内湿度はさほど急変するものではないと見做してもよいであろう。その場合は或一時刻での測定値をその気候における戸外湿度の平均値と比較してみることは意味があると思われる。このことを念頭において京都の5ヶ所の収蔵庫の状態をみると、

	高山寺	大覚寺	妙蓮寺	知恩院	平等院	京都の湿度(1955~1957平均)
42. 11	65	57	57.5	59.5	65.5	秋(9月~11月) 75%
43. 3	62	60	57.5	60	57	春(3月~5月) 69
43. 8	80	71.5	67	75	79	夏(6月~8月) 74
43. 11	59	58.5	58	62	58	秋(9月~11月) 75
44. 2	75	65	65	62	50	冬(12月~2月) 72

以上のうち44.2の測定は降雨続きのときに行なわれたのでやや例外的な数字であるかもしれない。

以上の結果から次の如く言えるであろう。すなわちあまり換気を強行行っていない収蔵庫内では夏季を除いては庫内はむしろ庫外より乾き気味で、相対湿度としてはむしろ外気よりはよい値が現出されている。これはこれらの収蔵庫を断熱性の悪い建物と仮定すれば気温としては高い昼間に測定しているせいがあるかもしれない。但し夏季はこの関係は逆となり庫内が高湿となる。又夏季に続いて高湿が持続すると予期される9, 10月の測定がないので実測値を示すことが出来ないが、換気があまり行なわれずに、気温が低下すると当然庫内には高湿が続くから、秋の曝涼に相当する庫内への通気が必要となってくる。しかし11月測定では二度とも高湿とはなっていなかった。恐らく庫内が庫外よりやや高温であることが僅かの換気作用に乾燥の役目をさせ、この頃までには高湿が直されるものと解される。

梅雨から初夏にかけてのデータもない。別の機会における測定値をみると、

	高山寺	知恩院	平等院
昭和41.6末	75	65	68

庫外からみると大して湿った状態とは言えない。これは換気が悪く、気温は次第に上昇しているので、相対湿度が上らずにいるものと思われる。この時季は換気を行なわない方が無難なのである。

高山寺は周囲の条件が悪いので一体に湿度が高い。妙蓮寺では除湿機が使われているので夏季の高湿がひどくないのである。平等院は開扉されていることが多く、外気の影響が大いに入っている。

以上これら収蔵庫につき温湿度に関することを総合してみると、

- ① 庫内温度平均が庫外よりやや高いことは収蔵品の材質劣化にとって一つの悪い条件ではあるが、その直接の影響はあまり大きくはない。
- ② むしろこの為に庫内が大ていの時季において適湿に近いことは大へんよいことである。
- ③ 但し夏季における高温高湿の状態は最も悪い条件で、出来得る限りの対策を構ずるべきである。高湿に対しては妙蓮寺で行なっているように、梅雨末期から10月頃まで、除湿機を用いることがよいであろう。高温を避けるには外気温湿度を見合わせて爽涼の日に換気を上手に行なうより致方ない。又二重構造の壁なら中間の空間を通路として日照による温りを上に抜くこともよいであろう。とにかく夏から秋にかけてマメに換気の世話をすることが肝要と思われる。

Résumé

Kenzo TOISHI, Toshiko KENJO, Rikuo ISHIKAWA : About Temperature and Humidity Within Exhibit Galleries and Repositories

I Temperature

Low-temperature preservation is considered appropriate for cultural properties, for Arrhenius formula is judged generally applicable to deterioration of their materials, but repetition of freezing and melting is not desirable. Comfort of visitors in the gallery, and influence accompanying taking in and out of the repository, must also been taken into consideration. It is normal to keep interior temperature between 20 and 23°C; its fluctuation throughout the year should be slowed down and be restricted to an extent about 5°C smaller than the change of exterior temperature. The temperature can be a little lower in a repository. Influence of one-day cycle changes due to nightly suspension of air control machine may cause exfoliation and other mechanic damages.

A. Actual interior temperature

In a small concrete building without air-conditioning,

- (1) Short-time changes of exterior air temperature are transmitted into the building in an averaged state.
- (2) The average interior temperature becomes slightly higher than the exterior temperature due to sunlight.
- (3) Yearly interior changes follow those of exterior air some time behind the latter.
- (4) Severe extreme temperatures like those of outside air do not take place inside.

We placed hair-bimetal type recording thermo-hygrometers inside and outside the new repository at Sugimoto-dera Temple in Kamakura, and took continuing records of temperature and humidity for more than a year on end. The results show the above-mentioned four characteristics. In such a building of small scale and therefore of small heat capacity, (3) and (4) do not show much, while (1) and (2) are noted prominently.

The rise of average temperature due to (2) is not desirable when viewed from the Arrhenius formula, but it causes fall of relative humidity which sometimes might bring about good result. This relationship is explained by the Brookes formula. However, it is not plausible that the interior temperature often rises higher than 30°C in summer and the humidity is also higher than desirable.

B. Difference of interior Surface Coverings

We compared the adiabatic qualities of *ōya-ishi* (a type of coarse, porous limestone) and *hinoki* (Japanese cypress wood) board which are frequently used for interior wall coverings of repositories. Records inside experimental repositories prove that

ōya-ishi is more effective in moderating the changes of exterior temperature; this is the result of comparison according to the ordinary manners of interior covering, that is, with *ōya-ishi* of 7 cm. thickness and *hinoki* board of 2 cm. thickness. *Ōya-ishi* has better adiabatic quality, but wood must be superior in moderating the changes of humidity through its quality of absorbing and discharging moisture. Practically it must be advisable to use both in combination.

II Humidity

The interior of a concrete building is moist for some period of time after its construction, due to extra water mixed in the cement. The moisture content of the material can be indicated by the humidity of air in equilibrium with that material. This is referred to as the Effective Relative Humidity. The Effective Relative Humidity of a concrete building decreases gradually from 100%, but its terminating point is not clear because it is influenced by the fluctuating exterior humidity. If the time when the Effective Relative Humidity becomes not inappropriate for preservation is to be described as "dried", a concrete building generally becomes "dry" within one year. The repository of Hōryūji Temple in Nara was an exceptional example which was air-conditioned immediately after its completion. Records of temperature and humidity in this building have been kept well. By tracing the records and finding the time when it became approximately "dry", we recognize that it began to indicate a "dry" state in about nine months at the latest.

The automatic record in the repository at Sugimoto-dera in Kamakura shows that its interior humidity once changed almost 40% within 24 hours because the ventilation aperture was open. This cannot be good for preservation of cultural properties. The ventilation should be closed when such rapid and big changes are feared.

The measured values of humidity in the five repositories in Kyoto, prove that the interior air is universally drier than the exterior air in the seasons of spring, autumn and winter but more humid in summer. In this season it is advisable to use a dehumidifier or to operate ventilation suitably.